

**Makale
(Article)**

Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi Örneği

Ahmet USLU¹, Nizar POLAT², Ahmet Suad TOPRAK³, Murat UYSAL^{2*}

¹Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksek Okulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 43300
Kütahya/TÜRKİYE

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 03200 Afyonkarahisar/ TÜRKİYE

³KOP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, 42110 Selçuklu, Konya/ TÜRKİYE

muysal@aku.edu.tr

Öz

Ülkemiz kültür bakımından önemli nitelikleri olan, tarih boyunca çok sayıda ve değişik özellikte medeniyetlere ev sahipliği yapmış bir toprak parçasıdır. Dolayısıyla uygarlıkların beşiği olarak Anadolu toprakları üzerinde, çok sayıda kültürel ve tarihi miras yer almaktadır. Birçok döneme ait yüzlerce yıllık bilgi birikimini üzerinde barındıran ve sonraki nesillere aktarılması gereken kültür varlıklarının dokümantasyonu ve korunması vazgeçilmez unsurlardandır. Bu noktada fotogrametri tekniği, arkeolojik eserlerin dokümantasyonunda ve 3B modellerinin üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan fotogrametrik yazılımların gelişimi sayesinde gerçek doku ile kaplanmış 3B modellerin elde edilmesi, model üretimine görsel açıdan bir ivme kazandırmıştır.

Bu uygulama, Kütahya Arkeoloji Müzesi'nde yer alan Amazonlar Lahdi ve mezar stelinin 3B modellenmesini içermektedir. Uygulamaya konu olan antik eserlerin yersel fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi için, eserler üzerinde işaretlenen kontrol noktaları Focus 6 reflektörsüz totalstation cihazı ile ölçülmüş ve antik eserlerin fotoğrafları Nikon Coolpix P510 kamerası ile çekilmiştir. Elde edilen bu veriler PhotoModeler yazılımında değerlendirilmiş ve arkeolojik eserlere ait 3B modeller üretilmiştir.

Çalışma sonucunda kültürel mirasın korunması ve sonraki nesillere aktarılması için yapılan belgeleme çalışmalarında yersel fotogrametrik tekniklerin kullanılması, bu alanda yapılan işlere doğruluk, hız, maliyet ve ürün çeşitliliği anlamında büyük bir avantaj sağlamanın yanında fotogrametrinin farklı disiplinlere de çözüm sunabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fotogrametri, Kültürel Miras, Lahit, Mezar Steli, 3Boyutlu Model, Photomodeler

Sampling of 3D Modelling of Cultural Heritage Using Photogrammetric Method

Abstract

Turkey, with its significant cultural characteristics, is a land having hosted numerous different civilizations throughout history. Therefore, as the cradle of civilizations, there are innumerable cultural and historical heritages on Anatolia land. Documentation and protection of cultural properties, which harbour extensive knowledge dating back to centuries ago that needs to be passed down to future generations, have thus become indispensable. For this purpose, photogrammetry is frequently used in documentation of archaeological artefacts and production of their 3D models. Thanks to the development of photogrammetric software used today, obtaining 3D models covered with real tissue has visually accelerated model production.

This implementation involves 3D modelling of Amazon Tomb and funerary stele in Kütahya Archaeology Museum. For 3D modelling of the relevant antique artefacts using ground photogrammetric method, the check-points marked on the artefacts were measured with Focus 6 Reflectorless TotalStation and their photos were

taken with Nikon Coolpix P510 camera. The data were analysed using PhotoModelers software and thus 3D models of the archeological artefacts were produced.

As a result of the study, it was seen that in addition to the fact that using ground photogrammetric techniques in documentation of cultural heritage to pass it down to future generations provides a great advantage in terms of accuracy, speed, cost and product variety, photogrammetry can also provide solutions to different disciplines.

Keywords: Photogrammetry, Cultural Heritage, Tomb, Funerary Stele, 3D Model, Photomodeler

1. GİRİŞ

Ülkemiz, konumu itibariyle göç ve ticaret yollarının üzerinde bulunması, Asya ile Avrupa'yı birbirine bağlaması, topraklarının verimli olması ve ikliminin insanların yaşayışına uygun olması gibi nedenlerden dolayı zengin kültürlerin beşiği olmuştur. Evrensel değerlere sahip, bütün insanlığın ortak mirası olarak kabul edilen kültür varlıklarını korumak, dünyaya tanıtmak, toplumda kültürel mirasa sahip çıkacak bilincin oluşmasını sağlamak ve çeşitli etkenlerle tahrip olan, yok olan kültürel değerlerin yaşatılması, dokümantasyonunun yapılması ve gelecek nesillere aktarılması için gerekli işbirliğini sağlamak bizlere düşen en büyük görevlerdendir.

Günümüzde fotogrametri tekniği ile hızlı ve güvenilir bir şekilde kültür varlıklarının dokümantasyonu yapılmaktadır [1]. Dijital fotogrametrik yöntemle tarihi yapıların dokümantasyonu, tanıtımı, korunması, koruma uzmanları tarafından restorasyon çalışmaları sırasında ve sonrasında zaman içerisinde eserlerde oluşabilecek bozulmaların tespiti yapılabilmektedir [2]. Fotogrametrinin önemli avantajlardan bir diğeri de nesnelerin aslına uygun olarak modellenerek 3B gösterimine imkân sağlamasıdır [3].

Bu çalışmada Kütahya Arkeoloji Müzesi'nde yer alan Amazonlar Lahdi ve mezar stelinin yersel fotogrametri yöntemi kullanılarak, mevcut durumlarının kayıt altına alınması, dokümantasyonlarının yapılması ve 3B modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır.

2. KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASI VE DOKÜMANTASYONU

Kültürel mirasın doğal afetler yada insani etkenlerden kaynaklanan nedenlerle tahrip edilmesi, hasara uğraması sonucu bakımlarının yapılması, kaçırılan eserlerin nereye ait olduklarının bilinmesi, öz niteliklerinin korunarak tekrar orijinal yerlerine konması açısından envanter bilgilerin arşiv ortamında saklanması çok önemlidir [4].

Kültürel mirasın korunmasına yönelik yapılacak belgeleme çalışmalarında elde edilen bilgilerin, oluşturulan çeşitli ölçek ve nitelikteki dokümanların koruma çalışmalarında görev alacak farklı meslek gruplarına mensup uzmanlar tarafından anlaşılır ve kullanılabilir biçimde düzenlenmesi gerekir. Metrik, yazılı ve görsel belgeleme, kültürel mirasın mevcut durumu ve problemlerinin tespiti ile bu problemlerin çözümüne ilişkin her türlü koruma çalışmalarında temel veri olarak kullanıldığı gibi kültürel mirasın gelecek kuşaklara aktarılmasının ve topluma tanıtılmasının da önemli bir yoludur [5].

2.1 Kültürel Mirasın 3B Modellenmesinde Fotogrametrik Yöntemlerin Kullanılması

Klasik iki boyutlu fotogrametrik uygulamalar birçok uygulama için yetersiz kalmaktadır. O nedenle coğrafi alanın üç boyutlu hesabı, sorgulanması, analizi, simülasyonu ve görselleştirilmesi önem kazanmıştır. Bugünkü CAD teknolojisi ile bir coğrafi alanın perspektif görünüşü elde edilebilmekte, üç boyutlu görselleştirme olanağı bulunmakta, sanal ortamda arazinin üzerinde uçmak, kent içinde dolaşmak mümkün olabilmektedir. Gerçek dünyada sonsuza yakın coğrafi varlık, bunlar arasında da çok karmaşık topolojik ilişkiler bulunmaktadır. Sonuç itibariyle de sonsuza yakın coğrafi varlığın ve coğrafi alanın

gerçek dünyadakine yakın temsil edilmesi, bu temsilin modellenmesi ve otomatik olarak tanımlanması gerekmektedir [6].

Digital fotogrametri de, üç boyutlu verilerin elde edilmesi ve yüksek doğruluğa ulaşılması için değişik istasyonlardan ardışık ve bindirmeli görüntülerin çekilmesi şarttır. Bu şartı gerçekleştirmek için kamera düzeninin iyi tasarlanması ve işleme en uygun matematik modelin seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca yüksek ölçü hassasiyetine ulaşılması, kamera ağ tasarımı olarak adlandırılan kaç tane kameranın, nereye ve nasıl yerleştirilebileceği, cisim üzerindeki kontrol noktalarının sayısı ve konumlarının nasıl olması gerektiği, uygun optimizasyon metodu kullanılarak sağlanmaktadır [2].

3. UYGULAMA

Bu çalışmada, arkeoloji alanında yersel fotogrametri yöntemi kullanılarak 3B model üretimine ilişkin bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

3.1 Çalışma Alanı

Uygulama kapsamında Kütahya Arkeoloji Müzesi'nde yer alan Roma dönemine ait, o dönemin nadir eserlerinden olan Amazonlar Lahdi ve mezar steli 3B olarak modellenmiştir.

3.1.1 Amazonlar Lahdi

Cladius Severinus ve eşi Berenice adına yaptırılan, 1845 yıllık Amazonlar lahdi Kütahya'nın Çavdarhisar ilçesindeki bir nekropolde defineciler tarafından 1990 yılında bulunmuştur. Ana tanrıça Kybele'nin anavatanı Frigya bölgesine ait bu eser 1.60 m yüksekliğinde, 2.40 m uzunluğunda ve 1.24 m genişliğindedir (Şekil 1). Eser üzerinde Amazon savaşçılar, Helen dünyasında olduğu gibi zor durumda değil, atak bir durumda resmedilmiş, erkek savaşçılar saldırıları karşılar vaziyette tasvir edilmişlerdir [7].



Şekil 1. Amazonlar Lahdi.

3.1.2 Mezar Steli

Mezar stelleri, mezar başlarına ya da mezarların üzerine yerleştirilen, dikdörtgen levha ya da blok şeklinde tasarlanan, üzerinde ölüyü tanıtan metin, kabartma resim ya da her ikisi de bulunan arkeolojik eserlerdir. Bu bilgiler sayesinde, stelin yapıldığı dönemde yaşayanların kültürel, sosyal ve ekonomik yaşamlarını inceleme imkânı bulabiliriz. Zeugma mezar stellerinde Roma yurttaşı olduklarını vurgulamak için, erkeklerin mezar stellerinde kartal kabartmaları işlenmiştir [8]. Boyutları 0.55 m x 1.20 m olan mezar stelinin üzerinde Grekçe harflerle kişi adı ve “acın son buldu” yazısı mevcuttur (Şekil 2).



Şekil 2. Mezar Steli.

3.2 Fotogrametrik Çalışmalar

Kültürel mirasların fotogrametrik yöntemle belgelenmesi çalışmaları arazi ve büro çalışmaları olmak üzere iki aşamada yapılmaktadır. Arazi çalışmalarında objenin koordinat sistemi tanımlanmakta, antik eserler üzerinde işaretlenen kontrol noktaları ölçülmekte ve antik eserlerin fotoğrafları çekilmektedir. Büro çalışmalarında ise kamera kalibrasyonunun yapılması, resimlerin bilgisayara aktarılması ve fotogrametrik yazılımlarla değerlendirme işlemleri yapılmaktadır.

3.2.1 Kullanılan Teknik Donanım ve Yazılımlar

Uygulama kapsamında donanım olarak Nikon Coolpix P510 kamerası, Focus 6 reflektörsüz totalstation cihazı, yazılım olarak; fotoğraflardan 3B çizim ve nokta bulutu üretimine imkân sağlayan PhotoModeler yazılımı kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Focus 6 totalstation (sol) ve dijital kamera (sağ).

3.2.2 Arazi Çalışmaları

Digital fotogrametrik yöntemle 3B modelleme işlemi yapabilmek için planlı bir jeodezik alım ve resim çekim işlemi yapılmalıdır.

Fotogrametrik değerlendirmede kullanılacak, antik eserler üzerindeki kontrol noktalarının jeodezik ölçümü için, bu tür yersel fotogrametrik ve modelleme çalışmalarında öncelikli olarak objeyi tüm yönlerden tamamen kapsayan jeodezik bir ağı oluşturulması gerekir. Bu bağlamda müze içerisinde antik eserleri tüm yönlerden tamamen kapsayacak şekilde lokal koordinat sisteminde jeodezik bir ağ oluşturulmuştur. Kontrol noktalarının seçiminde eserlerin müze içerisindeki konumları, yüzeyin fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak keskin hatların seçimine ve kontrol noktalarının fotoğraflarda seçilebilir olmasına dikkat edilmiştir [9,10]. Kontrol noktaları Focus 6 reflektörsüz totalstation cihazı ile lokal koordinat sisteminde ölçülmüştür. Detay noktalarının kontrolü için farklı poligon noktalarından aynı detay noktasına ölçümler yapılmıştır. Antik eserler üzerindeki detay noktalarının krokileri için cephelerin fotoğraflarından yararlanılmıştır.

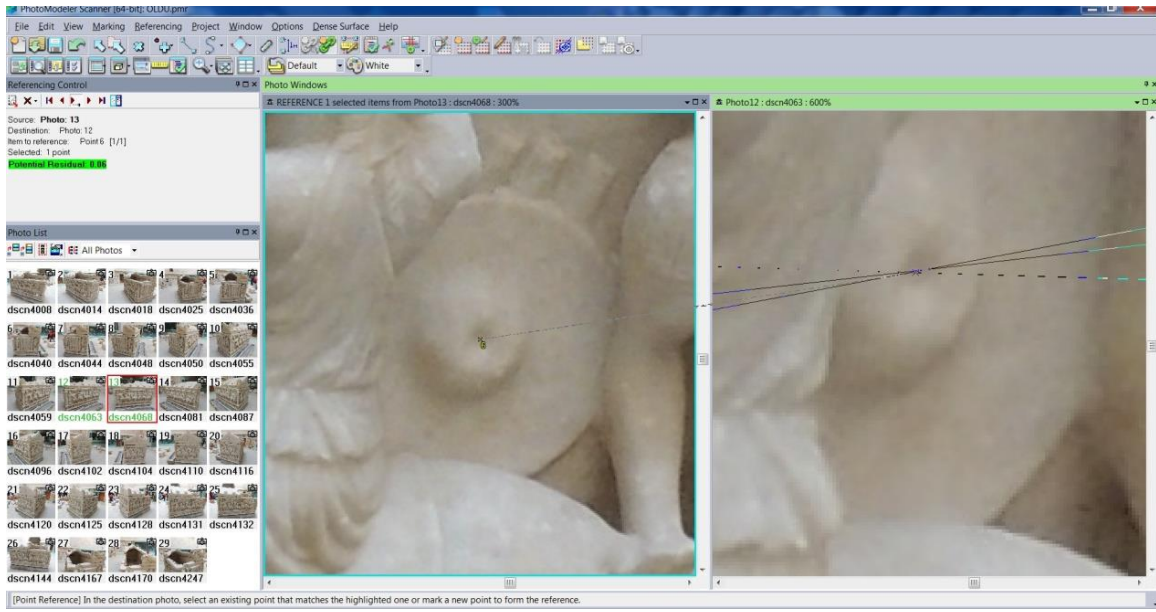
Antik eserlerin fotoğrafları, eserlerin 3B modellerini çıkarabilecek sayıda ve açıda, eserler üzerinde işaretlenen her detay noktası dört resimde görünecek şekilde, 16.1 MP çözünürlüğe sahip Nikon Coolpix P510 kamerası ile konvergent çekim esaslarına göre yapılmıştır. Mezar stelinin müzenin iç duvarlarına sabitlenmiş olması ve müze içerisindeki eserlerin konumlarının birbirlerine çok yakın olması sebebiyle stelin yan yüzeylerinin fotoğraf çekiminde zorluklar yaşanmıştır. Arka yüzeyinin ise fotoğraf çekimi yapılamamıştır. Değerlendirme sırasında en uygun olan resimler kullanılmıştır. Çizelge 1'de Fotogrametrik değerlendirme işleminde kullanılan antik eserler üzerinde işaretlenen nokta sayısı ve antik eserlere ait fotoğraf sayısı bilgileri verilmiştir.

Çizelge 1. Arazi Çalışmalarında çekilen ve değerlendirme işlemlerinde kullanılan fotoğraf sayıları.

Antik Eserin Adı	Eserler Üzerinde İşaretlenen Kontrol Noktalarının Sayısı	Değerlendirme İşleminde Kullanılan Fotoğraf Sayısı
Amazonlar Lahdi	65	29
Mezar Steli	11	13

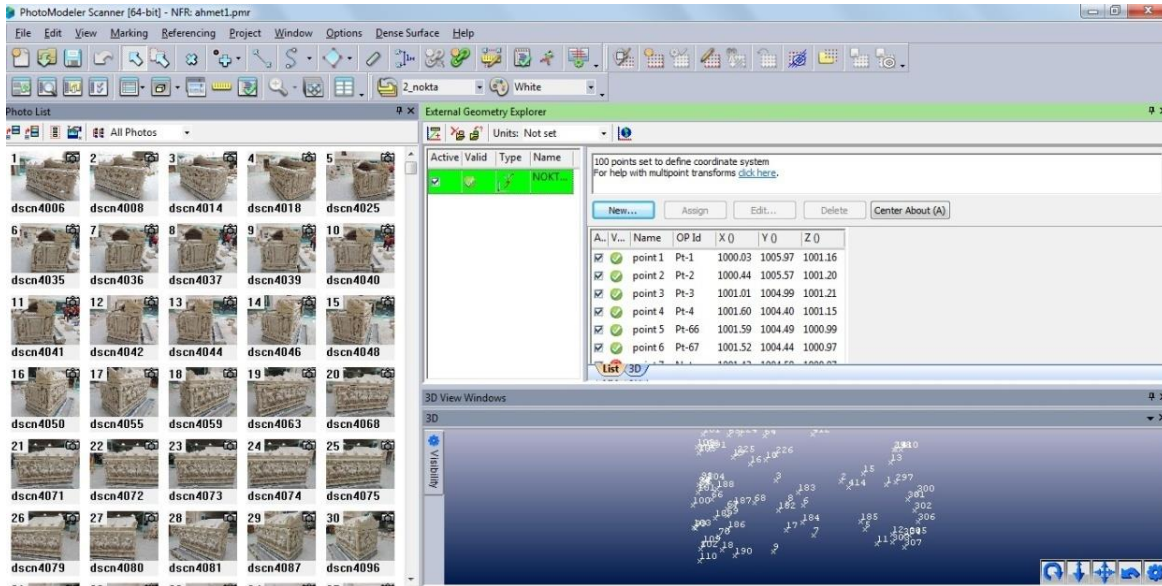
3.2.3 Ofis Çalışmaları

Değerlendirme işlemi ve 3B modelin oluşturulması kapsamında, programa öncelikle kullanılan kameranın iç yöneltme parametreleri yani kamera kalibrasyon değerleri ve değerlendirmede kullanılacak fotoğrafların girilmesiyle bir proje oluşturularak başlanılmıştır. PhotoModeler yazılımı karşılıklı ve mutlak yöneltme işlemlerini bir arada yaptığı için iki veya daha fazla resimde görünen kontrol noktaları işaretlenmiştir [11]. Kontrol noktalarının işaretlenmesinden sonra bir fotoğraf referans olarak seçilerek her bir kontrol noktasının yeri işaretlenen diğer fotoğraflarda da gösterilerek eşleştirme işlemi yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. PhotoModeler yazılımında farklı fotoğraflardan kontrol noktalarının eşlenmesi işlemi.

Daha sonra resim koordinat sisteminden arazi koordinat sistemine geçiş için kontrol noktalarının lokal koordinat sistemindeki arazi koordinatları (X,Y,Z) PhotoModeler yazılımının desteklediği bir metin dosyası formatında yazılıma eklenmiştir. Nokta atmak suretiyle eşlenen, fotoğraflarda işaretli olan kontrol noktaları fotoğraf üzerinde seçildikten sonra aynı kontrol noktaları metin dosyası ile yazılıma aktarılan koordinat tablosunda da seçilmiş ve noktaların üç boyutlu koordinatları sistemde tanımlanmıştır (Şekil 5).

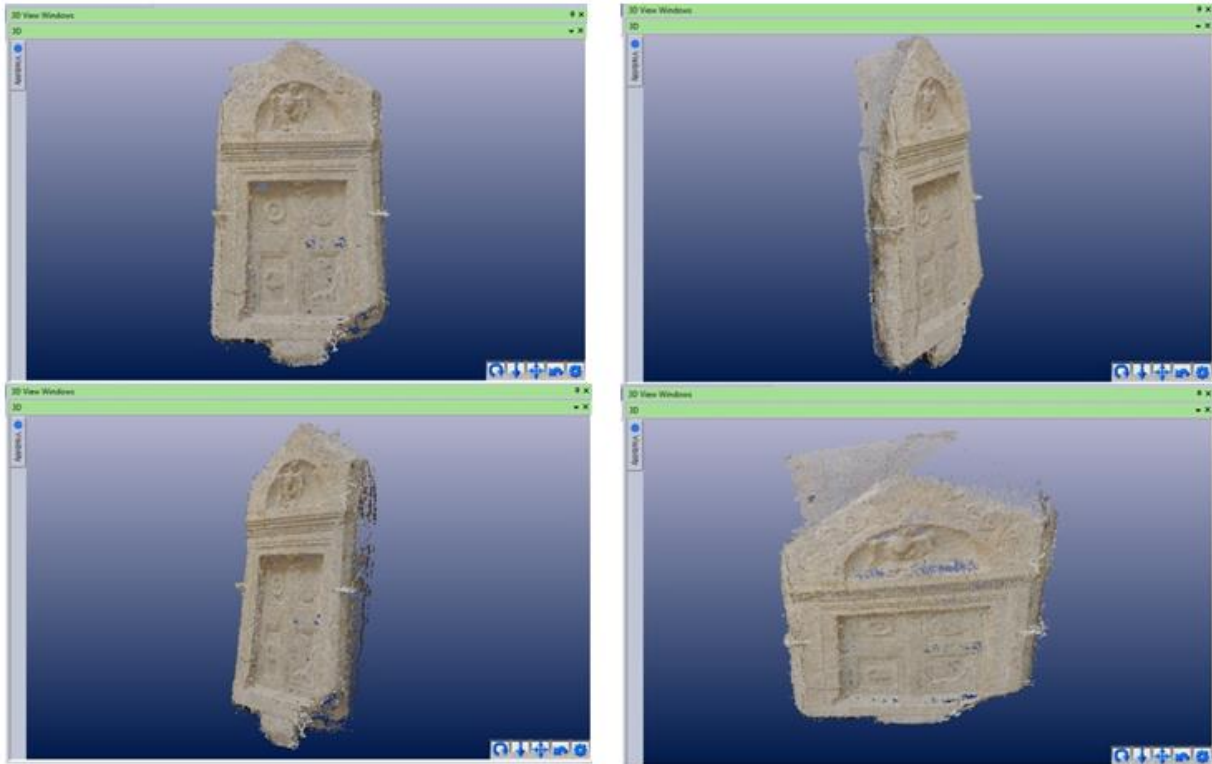


Şekil 5. PhotoModeler yazılımında nokta atmak suretiyle eşlenen noktaların, yer kontrol noktaları ile koordinatlandırılması.

Bu işlemlerden sonra PhotoModeler yazılımında demet yöntemine göre dengeleme işlemi yapılmıştır. Yapılan dengeleme sonucunda proje de problem olmadığı, dengelemenin başarılı olduğu, yöneltme işleminin yapıldığı ve ortalama nokta hassasiyetinin lahit için 0.58 piksel, stel için 0.19 piksel olduğu görülmüştür. Bu değerler sonucunda nokta bulutu ve 3B model üretme aşamasına geçilmiştir. Nokta bulutu üretimi aşamasında öncelikle nokta bulutu üretilecek fotoğraf çiftleri belirlenmiş 0.5 mm sıklıkta nokta bulutu üretilmiş ve üretilen nokta bulutu üzerinde bulunan uyuşumsuz noktalar temizlenmiştir [12]. Elde edilen nokta bulutuna dengelenmiş olan fotoğraflardan doku kaplaması yapılmış ve nokta bulutu renklendirilmiştir (Şekil 6 - Şekil 7).

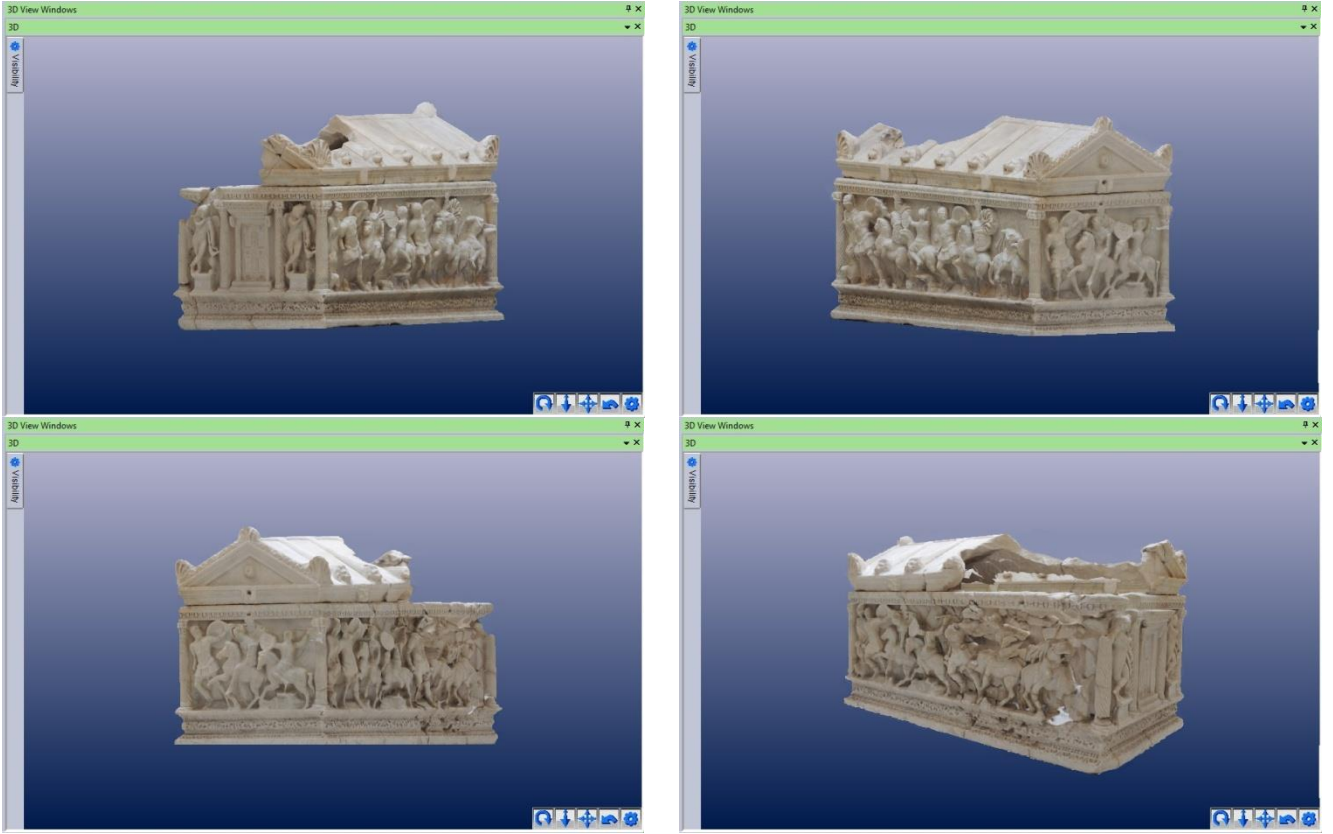


Şekil 6. Amazonlar Lahdinin gerçek doku ile kaplanmış nokta bulutu.

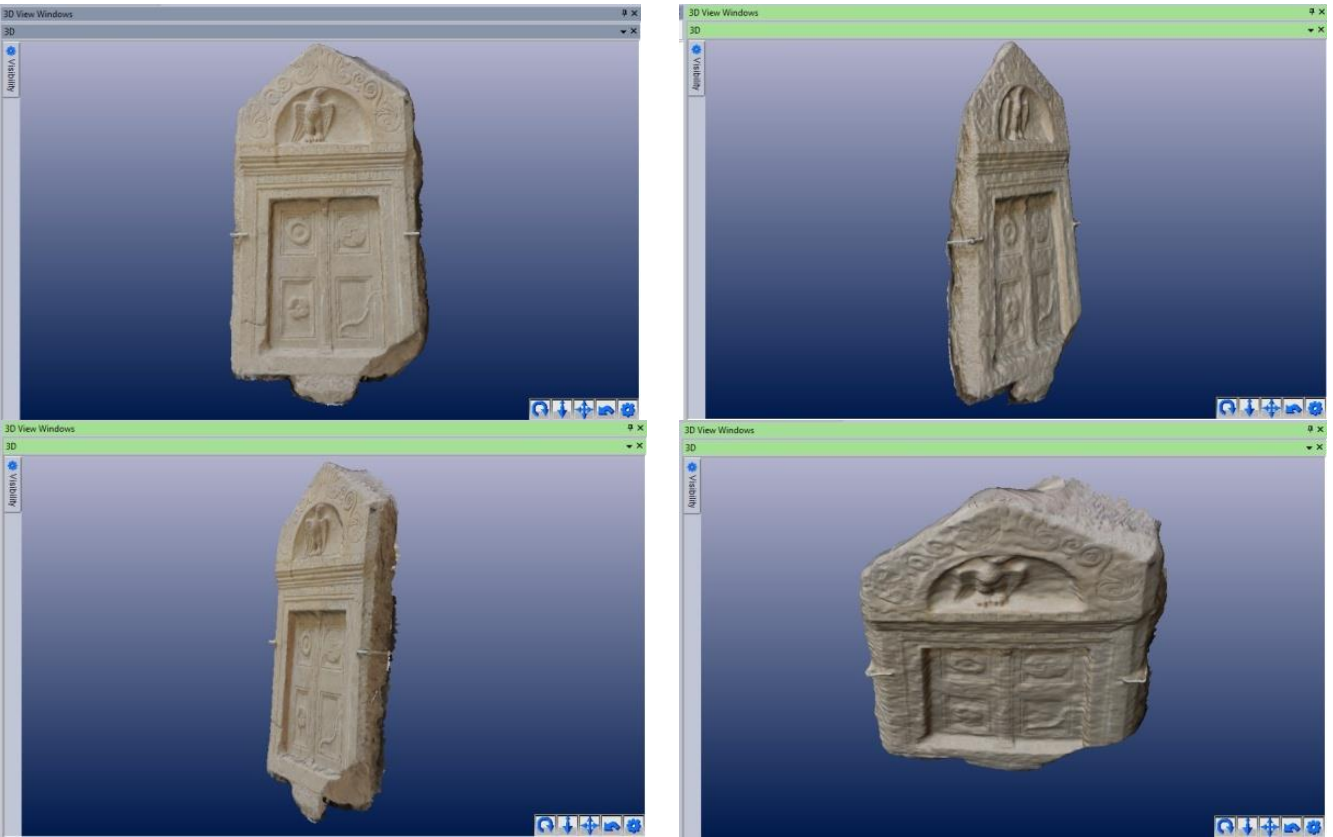


Şekil 7. Mezar stelinin gerçek doku ile kaplanmış nokta bulutu.

Nokta bulutu üretimi sonrasında üçgen model oluşturma aşamasında, nokta bulutunun seyreltilmesi, nokta bulutu üretilemeyen alanlarda boşluk doldurma işlemi yapılmış ve üçgen model elde edilmiştir. Oluşturulan üçgen model dengelenmiş fotoğraflar yardımıyla gerçek dokusuyla kaplanarak 3B model üretimi tamamlanmıştır (Şekil 8 – Şekil 9).



Şekil 8. Amazonlar Lahdinin gerçek doku ile kaplanmış 3B modeli.



Şekil 9. Mezar stelinin gerçek doku ile kaplanmış 3B modeli.

3.2.4 Konum Hassasiyet Araştırması

3B modelleme çalışmalarının doğruluğunun araştırılabilmesi için antik eserler üzerinde detay noktaları belirlenmiş ve bu noktaların koordinatları elektronik uzaklık ölçer ile hesaplanmıştır. Bu koordinatlar kesin koordinatlar olarak kabul edilmiştir. Aynı noktalara ait resim üzerinden elde edilen koordinat değerlerinden farkları hesaplanarak noktaların x, y, z yönündeki karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Çizelge 2 ve Çizelge 3’de Amazonlar Lahdine, Çizelge 4 ve Çizelge 5’de mezar steline ait oluşturulan 3 boyutlu modellerin doğruluğunun araştırılması üzerine yapılan çalışmaya ilişkin değerler verilmiştir.

Çizelge 2. Amazonlar Lahdine ait kontrol noktalarının koordinat farkları

N.N	Farklar (m)			Vi Farklar (mm)			Vi Vi Farklar		
	Y	X	Z	Vy	Vx	Vz	Vy Vy	Vx Vx	Vz Vz
1	-0.008	-0.012	0.016	-8	-12	16	64	144	256
2	-0.018	0.017	0.006	-18	17	6	324	289	36
3	0.011	-0.021	-0.011	11	-21	-11	121	441	121
4	0.012	0.006	0.013	12	6	13	144	36	169
5	0.008	0.015	0.015	8	15	15	64	225	225
6	-0.018	0.009	-0.021	-18	9	-21	324	81	441
7	-0.009	-0.014	-0.022	-9	-14	-22	81	196	484
8	0.013	-0.009	-0.019	13	-9	-19	169	81	361
9	0.016	0.018	-0.018	16	18	-18	256	324	324
10	-0.014	0.011	-0.016	-14	11	-16	196	121	256
11	-0.017	-0.019	0.009	-17	-19	9	289	361	81
12	-0.009	0.008	0.016	-9	8	16	81	64	256
13	-0.012	0.014	-0.008	-12	14	-8	144	196	64
14	0.009	0.011	0.019	9	11	19	81	121	361
15	-0.015	-0.007	0.015	-15	-7	15	225	49	225
16	-0.008	-0.012	0.016	15	-14	13	225	196	169

Çizelge 3. Amazonlar Lahdi 3B modelinin hassasiyet araştırması sonuçları

	Vy	Vx	Vz
	(mm)	(mm)	(mm)
Vmin	8	7	-6
Vmax	18	19	22
Vort	13	13	15
m	13.67	15.34	16.99
m_{vyz}		26.66	

Çizelge 4. Mezar steline ait kontrol noktalarının koordinat farkları

N.N	Farklar (m)			Vi Farklar (mm)			Vi Vi Farklar		
	Y	X	Z	Vy	Vx	Vz	Vy Vy	Vx Vx	Vz Vz
1	0.008	-0.006	-0.007	8	-6	-7	64	36	49
2	-0.011	-0.009	0.008	-11	-9	8	121	81	64
3	-0.009	-0.004	0.010	-9	-4	10	81	16	100
4	0.007	-0.009	0.012	7	-9	12	49	81	144
5	0.010	0.012	-0.009	10	12	-9	100	144	81

Çizelge 5. Mezar Steli 3B modelinin hassasiyet araştırması sonuçları

	V _y	V _x	V _z
	(mm)	(mm)	(mm)
V_{min}	6	4	7
V_{max}	11	12	12
V_{ort}	9	8	9.2
m	8.32	7.72	8.54
m_{xyz}		14.21	

Bu veriler ışığında kültürel mirasın dokümantasyonu uygulamasının konum hassasiyeti araştırmasında; y, x ve z koordinatlarında Amazonlar Lahdi için ortalama konum hatası $\pm 26,66$ mm, mezar steli için ortalama konum hatası $\pm 14,21$ mm olarak bulunmuştur.

3.2.5 Bulgular

Dijital fotogrametrik yöntemle 3B modelleme işlemi yapabilmek için aşağıdaki hususların önemli olduğu tespit edilmiştir:

- Modelleneyecek objenin şekil ve boyutları göz önünde bulundurularak uygun konum ve yeterli sayıda resim çekilmelidir.
- Poligon güzergâhının tesisi ve jeodezik alım işlemi planlı şekilde yapılmalıdır.
- Nesne üzerinde işaretlenen noktaların homojen dağılımı, yeterli sayıda olması sonuç ürünü modelin doğruluğunu arttırmaktadır.
- Dış yöneltme işlemi için en az 4 kontrol noktası görünen resimler kullanılmalıdır.

PhotoModeler yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen 3 boyutlu modelleme uygulamalarının başarısı için aşağıdaki hususların önemli olduğu görülmüştür:

- PhotoModeler yazılımında, 3B model üretimi için kullanılacak fotoğraf sayısının en az 3 olması gerekir. Konvergent alım yöntemi ile çekilen fotoğrafların kullanılması ve fotoğraf sayısının artmasıyla sonuç ürünü modelin doğruluğunun arttığı görülmüştür.
- PhotoModeler yazılımında, fotoğraflar üzerinde işaretlenen noktaların resim çiftlerinde eşleştirilmesinin doğru olması durumunda 3B modelin doğruluğunun arttığı görülmüştür.
- Nokta bulutu üretimi aşamasında, fotoğraflarda nokta bulutunun üretileceği bölge sınırlandırıldığında gereksiz ve bozuk nokta bulutu üretiminin önüne geçilerek, nokta bulutu üretiminin daha kısa sürede gerçekleştirilebileceği görülmüştür.
- Nokta bulutu üretimi aşamasında, örnekleme aralığı değerinin 10 mm 'den küçük seçilmesi durumunda nokta bulutu üretimi süresinin arttığı ve sık nokta bulutunun oluştuğu görülmüştür.
- PhotoModeler yazılımı model üretimi aşamasında, nokta bulutlarındaki gürültülerin minimize edilmesine, antik eserlerin alt ve üst kısmını oluşturan nokta bulutundaki boşlukların doldurulmasına imkân sağlar.
- Antik eserlerin yan yüzeylerinde işaretlenen bağlama nokta sayısı üst ve alt kısmında işaretlenen bağlama noktası sayısına göre fazla olduğundan, eserlerin yan yüzeyleri için üretilen nokta bulutu ve 3 boyutlu katı modelin doğruluğu daha yüksek olmuştur.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada fotoğraflar üzerinden, yersel lazer tarayıcılar kadar hassas nokta bulutları elde etmeye imkân sağlayan PhotoModeler yazılımı kullanılarak yersel fotogrametri yöntemi ile Kütahya Arkeoloji Müzesi'nde sergilenen Amazonlar Lahdi ve mezar stelinin düşük maliyette, yüksek çözünürlüğe ve doğruluğa sahip 3B modellerinin üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışma boyunca yersel fotogrametri tekniği

iş adımları uygulanarak fotoğraf çekimi, jeodezik alım ve yöneltme işlemleri yapılmıştır. Arkeolojik eserlere ait nokta bulutu üretimi, görüntü eşleme yöntemi ile yapılmıştır. Kullanılan eşlenik noktaların dağılımının uygunluğu üretilen nokta bulutunun sıklığı ve doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Nokta bulutu belirlenen fotoğraf çiftleri üzerinden 0,5 mm sıklıkta ve lahit için 0,58 piksel, stel için 0,19 piksel karesel ortalama hata eşleme doğruluğuyla üretilmiştir. Nokta bulutunun seyreltilmesi, nokta bulutu üretilmeyen alanlarda boşlukların giderilmesi işlemleri yapılmış ve üçgen model elde edilmiştir. Oluşturulan üçgen model dengelenmiş fotoğraflar yardımıyla gerçek dokusuyla kaplanarak yüksek çözünürlüğe ve doğruluğa sahip 3B model üretimi tamamlanmıştır. 3B modellerin konum hassasiyeti araştırmasında; y, x ve z koordinatlarında Amazonlar Lahdi için ortalama konum hatası $\pm 2,67$ cm, mezar steli için ortalama konum hatası $\pm 1,42$ cm olarak bulunmuştur.

Sonuç ürünü 3B modellerin, arkeolojik dokümantasyon ve restorasyon projelerinde altlık olarak kullanılabilmesi görülmüştür. Arkeolojik eserlerin istenilen ölçekte ayrıntılı cephe çizimleri, çeşitli perspektifleri ve tematik bilgilerin döküldüğü ayrıntılı haritaları, üzerlerine gerçek doku verileri de kaplanarak üç boyutlu fotomodelleri elde edilebilmektedir. Böylece bu belgeler koruma uzmanları tarafından restorasyon çalışmaları sırasında ve sonrasında zaman içerisinde eserlerde oluşabilecek bozulmaların tespit edilmesinde, değişikliklerin incelenmesinde referans veriler olarak kullanılabilir. Bu sayede tarihi, arkeolojik ve teknik araştırmalar, analiz çalışmaları, rölöve restitüsyon ve restorasyon projeleri hazırlanarak Amazonlar Lahdinin defineciler tarafından tahrip edilmiş kısımları aslına uygun olarak ihya edilmesi sağlanabilir.

Bilişim teknolojilerinin gelişmesi ve toplumun geneline yayılması ile birlikte kültürel mirasın sergilendiği müzeler de elektronik ortama taşınarak sanal müze veya e-müze olarak adlandırılan yeni bir müze kavramı ortaya çıkmıştır. Bu noktada fotogrametrik yöntemler kullanılarak elde edilen 3B modeller doku kaplama özelliğine sahip veri formatlarına export edilerek, kültürel mirasın sanal müzecilik anlayışıyla internet üzerinden milyonlarca müze kullanıcısı ile buluşması sağlanabilir. Ayrıca ülkemiz topraklarının büyük bir bölümüne yayılmış olan kültürel mirasın dokümantasyonunun yapılması ve 3B modellerinin oluşturulması çalışmalarında fotogrametrinin CBS ile entegrasyonu sağlanarak elde edilen verilerin tasarlanan web tabanlı CBS ortamında internet üzerinden ilgililerin hizmetine sunulması sağlanabilir.

Çalışma sonucunda zengin bir kültür mirasına sahip Kütahya'nın turizmden yeterince pay aldığını söylemek henüz mümkün değildir. Bu çalışma ile Kütahya Müzesi'nin tanıtımına, turizmine ve antik eserlerin 3B modellerinin etkin kullanımına katkı sağlanmıştır. Fotogrametrik tekniklerin arkeolojik uygulamalardaki kullanım potansiyelinin yanı sıra farklı disiplinlere de çözümler sunabileceği ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 14.FENBİL.20 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Yakar, M., Yılmaz, H.M. (2008). Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. S.Ü. Müh.- Mim. Fak. Dergisi C.23 s.2: 25-33.
2. Turan M. (2004). Mimari Fotogrametri Alanındaki Çağdaş Gelişimlerin Değerlendirilmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi Cilt 19, No 1, 43-50.
3. Asri, İ., Çorumluoğlu, Ö. (2007). Büyük Objelerde Tarihi Dokümantasyon ve Tanıtım Amaçlı Gpsit Destekli Digital Fotogrametrik 3B Modelleme. TUFUAB IV. Teknik Sempozyumu, İstanbul.

4. Demirkese, A.C., Özlüdemir, M.T., Demir, H.M. (2005). Kapadokya Örneğinde Tarihi ve Kültürel Mirasın Korunması ve Bu İşlemlerde Harita Mühendislerinin Yetki ve Sorumlulukları. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
5. Yakar, M. (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
6. Alkış, Z. (2003). 3 Boyutlu Modelleme Lisansüstü Ders Notları, İstanbul.
7. Kütahya müzesi internet sitesi. Erişim tarihi 20 Ekim 2015. <http://kütahyamuzesi.gov.tr>
8. İnternet ansiklopedisi. Erişim tarihi 23 Ekim 2015. www.wikipedia.com
9. Uysal, M., Toprak, A.S., Polat N. (2013). Afyon Gedik Ahmet Paşa (İmaret) Camisinin Fotogrametrik Yöntemle Üç Boyutlu Modellenmesi. TUFUAB VII. Teknik Sempozyumu, Trabzon.
10. Uysal, M., Uslu, A., Toprak, A.S., Polat, N. (2015). Arkeolojik Eserlerin Fotogrametrik Yöntemle 3 Boyutlu Modellenmesinde Menagas Mezarı Steli Örneği. TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 46: 252-254, Konya.
11. Yastıklı, N. (2014). Yersel Fotogrametrinin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımı. UZAL-CBS Sempozyumu, İstanbul.
12. Uslu, A. (2016). Kültürel Mirasın Üç Boyutlu Modellenmesi ve Web Ortamında Sunulması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.